

# Definição de uma Estratégia de Amostragem para o Inventário Florestal do Eucalipto em Portugal

Susana Barreiro, Margarida Tomé, José Tomé

Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Engenharia Florestal, Tapada da Ajuda,  
1399 LISBOA Codex.

**Resumo.** Em Portugal, a *Eucalyptus globulus* representa cerca de 22% da área florestal, rondando os  $750 \cdot 10^3$  ha. Estas plantações são essencialmente utilizadas pela indústria papelreira e são geridas em regime de talhadia com ciclos de corte de 10 a 12 anos. O último inventário florestal de eucalipto decorreu no ano 2000 baseando-se num delineamento que pode ser interpretado como uma amostragem por grupos de dimensão variável. Para efeitos desta amostragem, o país foi dividido em blocos quadrados com  $1 \text{ km}^2$  de área. Dentro de cada bloco foi estabelecida uma malha de 25 parcelas de  $500 \text{ m}^2$  de área distanciadas entre si de 200 m. No total foram amostradas 1094 parcelas em 150 blocos. Com o intuito de preparar o próximo inventário, as indústrias pretendem decidir se devem optar por uma amostragem simples ou se por uma amostragem por grupos, bem como definir outras características do inventário como área das parcelas, a dimensão e o número de grupos necessários para atingir um erro percentual pré-definido para a estimativa do volume. Com base nos dados do último inventário fizeram-se simulações de amostras de grupos constituídos por um número crescente de parcelas e analisaram-se os seus erros percentuais. Em simultâneo, estudou-se a área das parcelas em parcelas permanentes de grande dimensão o que permitiu determinar a área mínima que permite obter uma boa caracterização do povoamento.

**Palavras-chave:** Eucalipto, Amostragem por grupos, Erro de amostragem, Dimensão da amostra, Área da parcela

## INTRODUÇÃO

Em 2000 a CELPA encomendou o inventário florestal nacional do eucalipto com o objectivo de estimar o volume de eucalipto em pé em áreas já identificadas como contendo esta espécie na Cartografia de Manchas de Eucalipto (CME) realizada em 1999 com base nas fotografias aéreas de 1995 (área A). Neste inventário, a estimação dos volumes na área A baseou-se num delineamento que pode ser encarado como uma amostragem por grupos de dimensão variável. Para efeito desta amostragem, o país foi dividido em blocos quadrados com  $1 \text{ km}^2$  de área, aos quais foi aplicada uma grelha constituída por um conjunto de 25 parcelas de  $500 \text{ m}^2$  distanciadas entre si de 200 m. No total foram amostradas na área A 1094 parcelas distribuídas por 150 blocos. O critério de selecção dos blocos baseou-se no facto de um bloco apenas poder ser seleccionado caso pelo menos uma das suas 25 parcelas contivesse eucalipto.

Para planear o futuro inventário considerou-se pertinente tirar partido dos dados do inventário florestal anterior. Desta forma, a elaboração de uma nova metodologia de inventário de manchas de eucalipto passa por decidir entre uma amostragem simples ou uma amostragem por grupos, e optando pelo segundo tipo de amostragem decidir o número ideal de parcelas por grupos, bem como o número de grupos a amostrar para garantir um erro percentual pré-determinado. No decurso deste estudo realizou-se ainda um outro que consiste em determinar a área ideal de cada parcela tendo para isso sido usadas parcelas permanentes e alguns ensaios de compassos da Celbi com parcelas de dimensão superior a  $700 \text{ m}^2$  às quais ainda se aplicou o método da translação para lhes aumentar a área. O objectivo deste trabalho é, precisamente, com base nos dados do inventário realizado em 2000 e nos dados de séries de crescimento

longas de parcelas permanentes e ensaios de compassos, fazer um conjunto de análises cujos resultados permitam ajudar na decisão sobre as questões acima expostas.

Num estudo preliminar da dimensão óptima do grupo consideram-se grupos de igual dimensão tendo a análise sido feita sem considerar estratos nos povoamentos de eucalipto . Numa segunda fase será realizado o mesmo estudo considerando grupos de diferente dimensão, assim como os diferentes estratos de eucalipto (puro, misto dominante, misto dominado e disperso) separadamente e ainda uma análise económica.

## **DADOS**

### **Tipo de Amostragem**

A decisão relativamente ao tipo de amostragem a usar, se amostragem simples se amostragem por grupos baseou-se na análise do erro percentual estimado com grupos constituídos por um número de parcelas crescente. Para além da dimensão do grupo estimou-se também a dimensão da amostra necessária para atingir um erro percentual pré definido para a estimativa de volume.

Os dados disponíveis para realizar o estudo são provenientes do inventário florestal de eucalipto de 2000 da CELPA. Os dados foram fornecidos já processados ao nível do povoamento e contendo a seguinte informação:

- identificadores do bloco, da parcela, dos estratos e da rotação,
- coordenadas cartesianas (x,y) das parcelas contendo eucalipto,
- número de árvores vivas da parcela reportado ao hectare,
- volume da parcela reportado ao hectare.

Para a realização deste estudo o primeiro passo consistiu em reunir apenas os atributos essenciais para a realização deste trabalho. Uma vez que o objectivo é decidir se deverá optar-se, ou não, por uma amostragem por grupos, o passo seguinte consistiu em determinar as distâncias entre todas as parcelas do mesmo bloco, de forma a que depois estes se estabelecessem com base num critério de proximidade. Quer o cálculo das distâncias, quer a construção dos grupos de 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 parcelas foram realizados recorrendo à linguagem SQL no suporte Access. No que respeita ao cálculo euclidiano das distâncias este foi realizado com um algoritmo baseado na distância máxima “permitida” entre duas parcelas do mesmo grupo, permitindo seleccionar, em cada bloco, vários grupos de parcelas para cada dimensão de grupo considerada (embora com formas distintas, doutro modo seria impossível encontrar um número de grupos que permitisse realizar o estudo). Para grupos de duas parcelas considerou-se uma distância máxima de 200 metros, enquanto que para grupos de 3 esse valor aumentou para 400. Nos restantes grupos considerou-se uma distância máxima entre parcelas até 600 metros.

Os grupos amostra foram sorteados aleatoriamente no EXCEL tendo tido como única restrição, a não repetição de blocos de forma a que numa mesma amostra nunca fizessem parte dois grupos pertencentes ao mesmo bloco. O número de grupos a amostrar por unidade de amostragem foi decrescendo com o aumento do número de parcelas por grupo de forma a que o número de parcelas em estudo fosse aproximadamente o mesmo, independentemente da dimensão do grupo (**Quadro 1**).

**Quadro 1** – Dimensão das amostras para as diferentes unidades de amostragem.

Unidade de amostragem	Dimensão da amostra de grupos (n)	Nº de parcelas por grupo	Nº total de parcelas para cada tipo de grupo	Nº de parcelas nas 5/10 repetições
Parcelas simples	150	1	150	750
Grupo de 2 parcelas	75	2	150	750
Grupo de 3 parcelas	50	3	150	1500
Grupo de 4 parcelas	37.5 $\approx$ 38	4	152	1520
Grupo de 5 parcelas	30	5	150	1500
Grupo de 6 parcelas	25	6	150	1500
Grupo de 7 parcelas	22	7	154	1540
Grupo de 8 parcelas	19	8	152	1520

Inicialmente foram feitas 5 repetições para cada unidade de amostragem, mas com o decorrer do trabalho, e face à variabilidade encontrada nos resultados das diferentes repetições, foram aumentadas para dez nos casos dos grupos com mais de 2 parcelas. As amostras foram importadas novamente para o Access onde se procedeu ao cálculo do erro e à dimensão da amostra.

### Dimensão da parcela

Actualmente, quer a maioria das empresas de celulose quer o inventário florestal nacional usa parcelas de inventário com 500 m<sup>2</sup> de área. A questão que se põe neste trabalho é se será ou não possível reduzir a área das parcelas sem que isso implique uma perda significativa ao nível das estimativas das variáveis do povoamento. Assim, a decisão relativamente à área da parcela baseou-se na comparação das estimativas das variáveis do povoamento da parcela original com os respectivos valores obtidos em parcelas simuladas com áreas de dimensão crescente.

Foram usadas 11 parcelas permanentes quadradas, em compasso 3x3 com áreas de aproximadamente 900 m<sup>2</sup> e cerca de 100 árvores por parcela. Para além destas foram ainda seleccionadas as parcelas pertencentes a 3 ensaios de compassos diferentes cujas áreas são superiores a 700 m<sup>2</sup>. O facto das parcelas apresentarem compassos variáveis, entre 2x2 e 4x5, bem como o facto do número de árvores por fila por vezes ser muito superior ao número de árvores por coluna, ou vice versa, leva a que a maior parte das parcelas destes ensaios seja rectangular com áreas compreendidas entre 700 e 1800 m<sup>2</sup> de área. Algumas das parcelas permanentes e as parcelas pertencentes a um dos ensaios de compassos foram medidas antes e depois do primeiro corte fornecendo estimativas das variáveis do povoamento quer para o alto fuste quer para a talhadia. Para as restantes parcelas apenas se dispunha dos dados referentes ao alto fuste. No total foram usadas para este estudo 46 parcelas com área média de 1035 m<sup>2</sup> e com um número médio de árvores por parcela de 114. No **Quadro 2** podem ver-se resumidas as características das parcelas usadas.

A informação disponível acerca de cada uma das parcelas consiste no seguinte:

- identificadores do ensaio, da parcela e da rotação,
- coordenadas cartesianas (x,y) de cada árvore,
- medições de diâmetro à altura do peito e altura total para idades que rondam os 5, 8, 11 e 14 anos.

**Quadro 2** – Resumo dos dados utilizados para o estudo da área da parcela.

Rotação	Tipo de parcela	Número de parcelas	Compasso	Área média	Número médio de árvores por parcela
Alto fuste e talhadia	Parcelas permanentes	11	3x3	903	100
	Ensaio de compassos 1	4	3x2	936	156
		4	3x3	1087	121
		4	3x4	1116	93
		4	4x4	1120	70
		4	4x5	970	49
Alto fuste	Ensaio de compassos 2	2	2x2	784	196
		2	3x2	1176	196
		2	3x3	1764	198
	Ensaio de compassos 3	3	3x4	768	65
		3	4x3	768	65
		3	4x4	1024	64
		46		1035	114

## MÉTODOS

### Tipo de Amostragem - Dimensão dos grupos

A análise dos dados foi conduzida de modo a definir o método de amostragem mais adequado para estimar o volume por hectare para um erro percentual pré definido. O cálculo do erro percentual para os grupos de diferente dimensão foi feito com base na teoria da amostragem por grupos.

O grupo ou unidade de amostragem é um conjunto de parcelas vizinhas em que cada parcela constitui a unidade de amostragem elementar. Assim sendo, o erro percentual foi calculado a partir do estimador da variância da média do volume por hectare ( $S_{\hat{V}}^2$ ) da seguinte forma (Borders e Shiver, 1996; de Vries, 1986; Tomé, 2003):

$$E_{\hat{V}} \% = \frac{S_{\hat{V}} t_{\alpha/2}}{\hat{V}} \quad S_{\hat{V}}^2 = \frac{1}{n} \frac{1}{M^2} \frac{\sum_i^n (V_{ti} - \hat{V}_t)^2}{n-1}$$

onde:

- $n$  é o número de grupos amostrados,
- $M$  o número de parcelas em cada grupo,
- $V_{ti}$  o somatório dos volumes das parcelas de cada grupo,
- $\hat{V}_t$  a média dos somatórios dos volumes das parcelas de cada grupo,
- $\hat{\hat{V}}$  o valor médio do volume por hectare de todas as parcelas,
- $t_{\alpha/2}$  o t-Student com  $(n-1)$  graus de liberdade e com  $\alpha = 0.05$ .

### Tipo de Amostragem - Dimensão da amostra para um erro percentual pré definido

Utilizando os mesmos dados com que foram calculados os erros percentuais para uma amostra com 150 parcelas, foi possível estimar a dimensão da amostra necessária para obter um erro percentual pré-definido. Para uma amostra de grupos com  $M$  parcelas, o número de

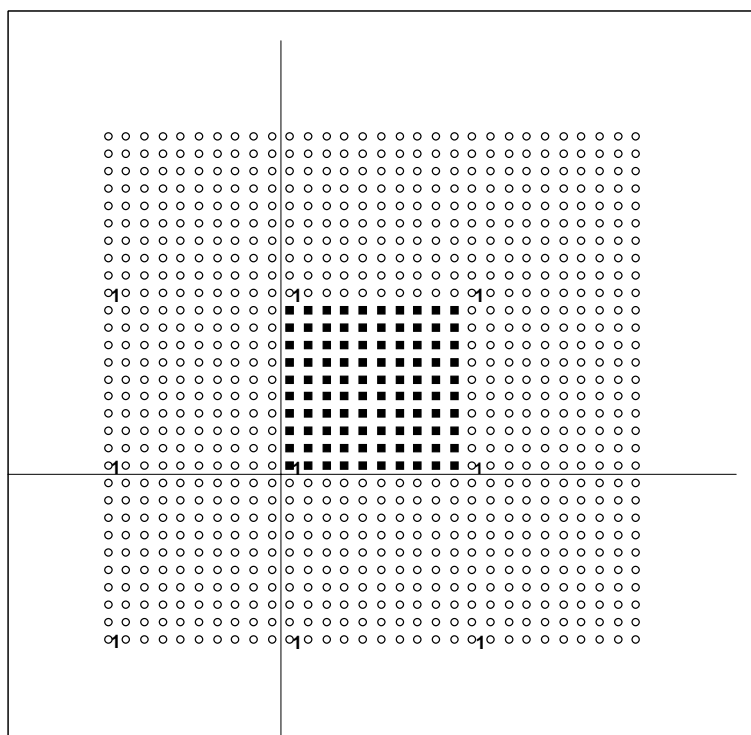
grupos a visitar no terreno para garantir um erro de amostragem igual a  $E_{\hat{V}}\%$  pode ser estimado da seguinte forma:

$$S_V^2 = \frac{1}{M^2} \frac{\sum_i^n (V_{ti} - \hat{V}_t)^2}{n-1} \quad n = \frac{S_V^2 t_{\alpha/2}^2}{\left(E_{\hat{V}}\% \hat{V}\right)^2}$$

onde  $E_{\hat{V}}\%$  tomou os valores 5, 10, 15 e 20 e onde  $\hat{V}$  é a média dos volumes por hectare de todos os grupos da amostra.

### Dimensão da parcela - Simulação de parcelas com áreas crescentes

Apesar de terem sido seleccionadas para este estudo parcelas com áreas consideráveis, acabou por se constatar que o facto da maioria delas ter forma rectangular levava a que no máximo se conseguisse simular uma parcela circular com um diâmetro igual ao menor lado da parcela rectangular. Esta situação revelou-se desfavorável, uma vez que as parcelas rectangulares com áreas superiores a 700 m<sup>2</sup> acabavam por não permitir a simulação de parcelas circulares com áreas significativas. Foi então que se optou por aplicar o método da translação e reproduzir 8 vezes a parcela em torno de si própria, independentemente desta ser quadrada ou rectangular (**Figura 1**).



**Figura 1** – Esquema da aplicação do método da translação à parcela original (representada pelos quadrados) onde 1 representa a localização da árvore com o número 1 nas 9 parcelas.

Após a replicação da parcela mudou-se a origem das coordenadas para o centro da parcela original e só depois se procedeu à simulação, no Access, das parcelas circulares com áreas compreendidas entre os 100 e os 1000 m<sup>2</sup>.

## Dimensão da parcela - Cálculo das variáveis do povoamento

Uma vez que o estudo consistia na comparação das estimativas das variáveis do povoamento nas 46 parcelas originais antes da replicação com os valores das mesmas para cada parcela circular simulada, procedeu-se ao cálculo das variáveis do povoamento em Access: altura dominante (hdom), área basal (G) e volume por hectare (V).

## Dimensão da parcela - Análise gráfica, desenvolvimento de modelos mistos e teste de contrastes

Foi feita uma análise gráfica e posteriormente desenvolveu-se um modelo misto para cada variável com o procedimento PROC MIXED do SAS (SAS Institute), tendo a idade do povoamento como covariante e a dimensão da parcela como factor fixo. Foram considerados como regressores a idade do povoamento, a idade ao quadrado, a dimensão da parcela e a interacção entre a idade e a dimensão da parcela, sendo incluídas em cada modelo as variáveis cujo p-value se apresentasse inferior a 0.05. As variáveis altura dominante, área basal e volume por hectare foram estimadas com estes modelos e em seguida realizou-se um teste de contrastes no SAS que comparou as estimativas das parcelas circulares com as das parcelas originais rectangulares ou quadradas antes da replicação.

## RESULTADOS

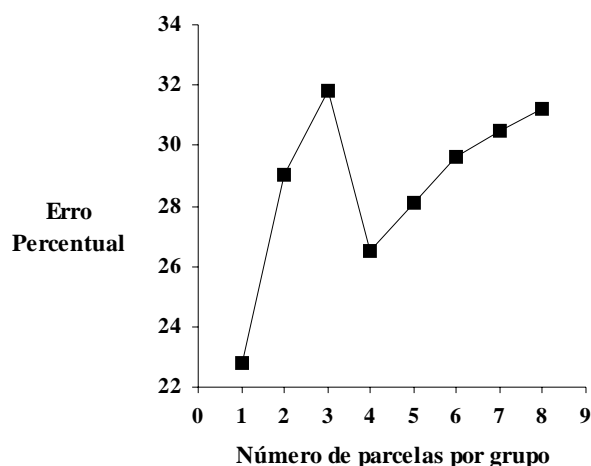
### Tipo de Amostragem - Dimensão dos grupos

Os erros percentuais foram calculados no Access com recurso a linguagem SQL. O **Quadro 3** mostra os valores médios dos erros percentuais por tipo de unidade de amostragem. O erro percentual deveria aumentar à medida que aumenta o número de parcelas por grupo, contudo os grupos de duas e três parcelas apresentam valores de erro percentual superiores ao que seria de esperar. Uma justificação possível é o facto de para grupos com um número reduzido de parcelas (2 e 3) muito próximas umas das outras, estas apresentarem baixas variabilidades dentro do grupo, mas variabilidades elevadas entre grupos.

**Quadro 3** – Erros percentuais por tipo de unidade de amostragem para amostras com 150 parcelas.

Tipo de unidade de amostragem	Erro%
Parcelas simples	22.82
Grupo de 2 parcelas	29.05
Grupo de 3 parcelas	31.78
Grupo de 4 parcelas	26.49
Grupo de 5 parcelas	28.11
Grupo de 6 parcelas	29.62
Grupo de 7 parcelas	30.47
Grupo de 8 parcelas	31.21

A **Figura 2** mostra a variação do erro percentual à medida que a unidade de amostragem aumenta de uma parcela.



**Figura 2** – Variação do erro percentual para os diferentes tipos de grupo quando são amostradas 150 parcelas.

#### Tipo de Amostragem - Dimensão da amostra para um erro percentual pré definido

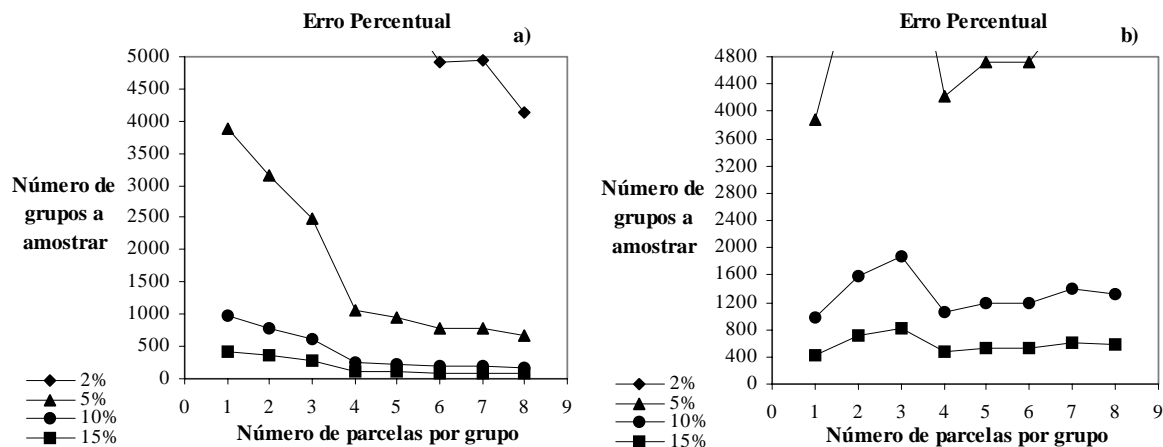
As dimensões das amostras, quer em termos de número de grupos, quer em termos de número de parcelas a visitar no terreno, para grupos de diferentes dimensões e para diferentes valores de erro percentual mostram-se nas **Figuras 3 e 4** e no **Quadro 4**.

**Quadro 4** - Número de grupos e de parcelas a amostrar para os diferentes tipos de unidade de amostragem e para diferentes valores de erro percentual.

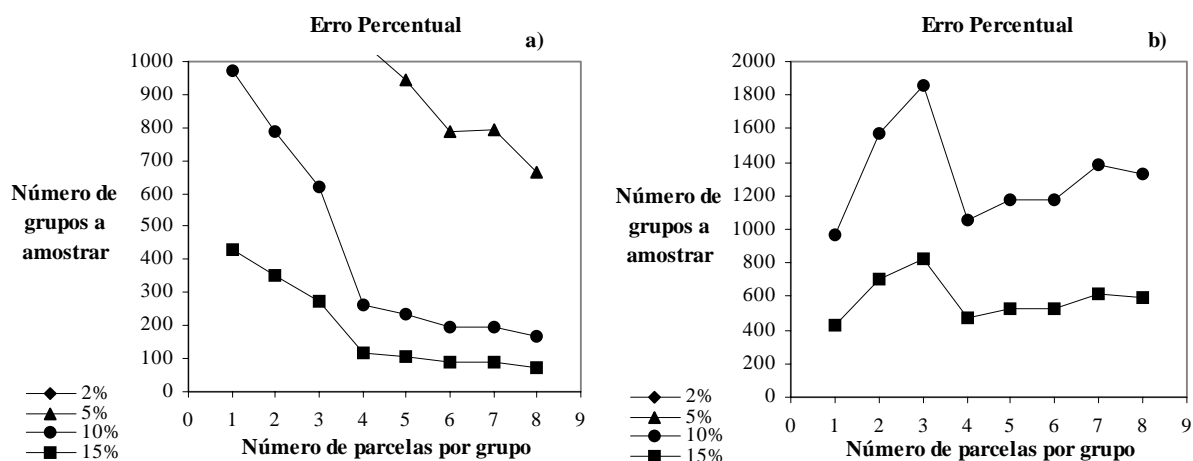
Tipo de unidade de amostragem									
	Erro percentual	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de grupos a amostrar	2%	23881	19052	14735	6175	5410	4436	4400	3605
	5%	3821	3048	2358	988	866	710	704	577
	10%	955	762	589	247	216	177	176	144
	15%	425	339	262	110	96	79	78	64
	20%	239	191	147	62	54	44	44	36
Número de parcelas a amostrar	2%	23881	38103	44206	24699	27051	26616	30797	28837
	5%	3821	6097	7073	3952	4328	4259	4927	4614
	10%	955	1524	1768	988	1082	1065	1232	1153
	15%	425	677	786	439	481	473	547	513
	20%	239	381	442	247	271	266	308	288

A análise da **Figura 3 a)** mostra que, como seria de esperar, para cada erro percentual, a dimensão da amostra decresce significativamente com o número de parcelas por grupo. Contudo, quando se analisa o impacto que o número de parcelas por grupo tem no número total de parcelas a medir **Figura 3 b)**, verifica-se que, para um determinado erro percentual o número total de parcelas é sempre menor para parcelas individuais, sobe para grupos com 2 e 3 parcelas e depois estabiliza num valor ligeiramente superior ao número de parcelas a medir se se optar por parcelas individuais, sendo ligeiramente crescente com o aumento da dimensão do grupo (**Figura 4** – ampliação da figura anterior). Note-se que o número de parcelas necessário para grupos de 4 parcelas é bastante semelhante ao necessário para parcelas

isoladas. Com a exceção dos grupos de 2 e 3 parcelas, o estudo sugere que o número total de parcelas medidas tem mais importância na determinação do erro de amostragem do que o número de parcelas por grupo (até à dimensão de 8 parcelas por grupo, a maior dimensão analisada).



**Figura 3** – Número de grupos de 1 a 8 parcelas a amostrar para diferentes valores de erro percentual a) e correspondente número de parcelas b).

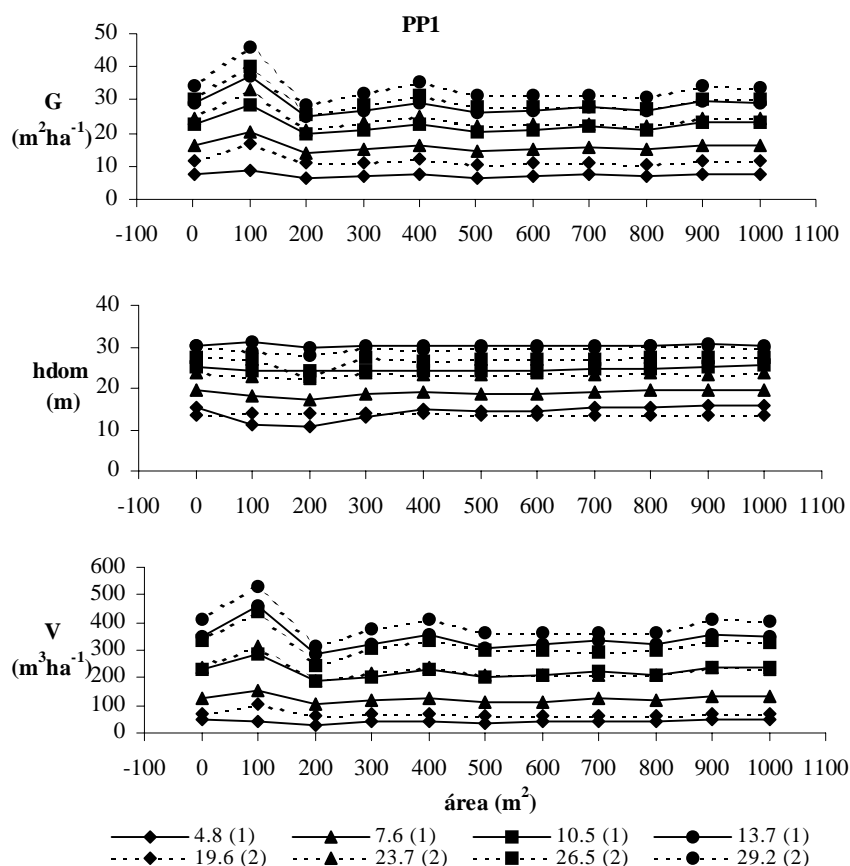


**Figura 4** – Ampliação da Figura 3.

### Dimensão da parcela - Análise gráfica

Para cada uma das 46 parcelas fizeram-se gráficos com a evolução das estimativas das variáveis do povoamento ao longo das diferentes datas de medição consideradas, quer para a parcela original (antes da replicação), quer para as parcelas simuladas com áreas crescentes. A análise gráfica parece indicar que a partir dos 400 m<sup>2</sup> de área, as estimativas das variáveis parecem estabilizar e aproximar-se das da parcela original representada nos gráficos da **Figura 5** por zero.





**Figura 5** – Evolução das estimativas das variáveis do povoamento: área basal (G), altura dominante (hdom) e volume por hectare (V) ao longo do tempo para uma parcela com alto fuste (linha) e talhadia (tracejado). Nas abscissas estão representadas as áreas das parcelas simuladas e da parcela original representada por zero.

### Dimensão da parcela - Desenvolvimento de modelos mistos e teste de contrastes

O **Quadro 5** apresenta os resultados da comparação das estimativas das variáveis do povoamento da parcela original, aqui representada por T, com as das parcelas simuladas com áreas compreendidas entre os  $100 m^2$  ( $A_1$ ) e os  $1000 m^2$  ( $A_{10}$ ). Quando as estimativas são consideradas diferentes apresentam-se representadas por  $\neq$ , quando são consideradas iguais representam-se por  $=$ , e se forem muito próximas representam-se por  $\approx$ .

**Quadro 5** – Comparação das estimativas das variáveis do povoamento obtidas para a parcela original e para as parcelas simuladas com áreas crescentes.

	hd	G			V		
		t=6	t=9	t=12	t=6	t=9	t=12
T-A <sub>1</sub>	$\neq$	=	$\neq$	$\neq$	=	$\neq$	$\neq$
T-A <sub>2</sub>	$\neq$	=	$\neq$	$\neq$	=	$\neq$	$\neq$
T-A <sub>3</sub>	$\neq$	=	=	=	=	=	=
T-A <sub>4</sub>	$\neq$	=	=	=	=	=	=
T-A <sub>5</sub>	$\approx$	=	=	=	=	=	=
T-A <sub>6</sub>	=	=	=	=	=	=	=
T-A <sub>7</sub>	=	=	=	=	=	=	=
T-A <sub>8</sub>	=	=	=	=	=	=	=
T-A <sub>9</sub>	=	=	=	=	=	=	=
T-A <sub>10</sub>	=	=	=	=	=	=	=

O modelo misto para a altura dominante não inclui como regressor a interacção entre a idade e o tamanho da parcela, daí que os resultados não se desdobrem para 3 idades diferentes.

Os resultados parecem sugerir que as estimativas da área basal e do volume por hectare obtidas nas parcelas simuladas com áreas superiores a 200 m<sup>2</sup> são iguais às estimativas obtidas na parcela original. Porém, isto não se regista para a altura dominante, cujas estimativas apenas são consideradas iguais para parcelas com áreas superiores a 600 m<sup>2</sup> ainda que para parcelas de 500 m<sup>2</sup> os seus valores se aproximem bastante.

## CONCLUSÕES

### Tipo de Amostragem

Do ponto de vista prático, este estudo sugere que o erro de amostragem depende mais do número total de parcelas medidas, do que da dimensão do grupo, exceptuando-se os grupos com 2 ou 3 parcelas, os quais conduzem a erros de amostragem superiores.

Em termos de erro percentual parece ser preferível optar por parcelas simples em vez de medir o mesmo número de parcelas inseridas num grupo de quatro parcelas, contudo isto deixa de ser vantajoso quando se pensa em termos de custos uma vez que estes se reduzem ao se optar por uma amostragem por grupos.

Na prática é óbvio que não é possível trabalhar com grupos de dimensão fixa, uma vez que há sempre a possibilidade de algumas das parcelas do grupo não coincidirem com eucalipto. Assim sendo, pensa-se realizar o mesmo tipo de estudo para grupos de dimensão variável. Desta forma será possível simular amostragens para uma determinada dimensão e forma dos grupos previamente seleccionados e calcular os correspondentes erros de amostragem e grandezas de amostra necessárias para garantir um erro de amostragem pré-fixado. Pretende-se ainda realizar análises económicas para vários cenários alternativos com o objectivo de minimizar os custos e os erros percentuais associados ao inventário.

### Dimensão da parcela

Perante os resultados obtidos, embora que para as estimativas de área basal e volume possa parecer satisfatório reduzir a área das parcelas de inventário de 500 m<sup>2</sup> para 400 m<sup>2</sup>, esta opção não parece sensata para a altura dominante. Dada a importância desta variável que é utilizada como preditor em curvas hipsométricas e serve de base para a estimação do índice de qualidade da estação, parece preferível manter as parcelas de inventário com áreas de 500 m<sup>2</sup>.

## BIBLIOGRAFIA

de Vries, P. G. (1986). *Sampling theory for forest inventory - teach-yourself course*. Springer Verlag Berlin, Heidelberg.

Shiver, B. D. e Borders, B. E. (1996). *Forest techniques for forest resource inventory*. John Wiley & Sons, Inc. USA.

Silviconsultores, Lda & Jaakko Poyry Consulting, (2000). *Inventário Florestal Nacional do Eucalipto*.

Tomé, M. M. (2004). *Amostragem aplicada à inventariação de recursos florestais. Texto pedagógico do GIMREF, TP1/2003*. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Departamento de Engenharia Florestal.